

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Bakalářská práce

2010

Martin Pelzl

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Analýza a vyhodnocení použitelnosti různých
druhů rafinačních solí, používaných k odplynění
slitiny AlSi určené pro lití pod tlakem**

**Analysis and Usability Evaluation of Different
Types of Refining Slag Where Are Used as
Degasification Reagent for AlSi Alloy Designed
for Pressure Die Casting**

Student: Martin Pelzl

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Povýšil, Ph.D.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student:

Martin Pelzl

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Specializace:

70 Strojírenská technologie

Téma:

Analýza a vyhodnocení použitelnosti různých druhů rafinačních solí,
používaných k odplynění slitiny AlSi určené pro lití pod tlakem

Analysis and Usability Evaluation of Different Types of Refining Slag
Where Are Used as Degasification Reagent for AlSi Alloy Designed for
Pressure Die Casting

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii současně používané technologie zpracování slitiny AlSi pro lití pod tlakem.
2. Zpracujte studii rafinace a odplynění slitiny AlSi.
3. Navrhněte experiment pro porovnání použitelnosti různých rafinačních solí.
4. Proved'te a vyhodnot'te navržený experiment z hlediska kvality a ekonomiky.
5. Zpracujte závěr bakalářské práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

MICHNA, Štefan; LUKÁČ Ivan; et al. *Encyklopedie hliníku*. 1. vyd., Adin, s.r.o., Prešov: Aldin, s.r.o., 2005, 700 s. ISBN 80-89041-88-4

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Povýšil, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu



V Ostravě 19. 5. 2010

.....

podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků bakalářské práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19.5.2010



.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Pelzl

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Havelkova 142, 789 83 Loštice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PELZL, M. *Analýza a vyhodnocení použitelnosti různých druhů rafinačních solí používaných k odplynění slitiny AlSi určené pro lití pod tlakem: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2010, 50s. Vedoucí práce: Povýšil, J.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na problematiku odplynění slitiny AlSi. Je zde popsán charakter této slitiny a systém jejího tavení. Následuje popis současného principu odplynění za pomoci rotorového zařízení. Tato technologie je dále porovnávána s alternativou ve formě odplyněvacích solí zatížených u dna pánve odplyněvacím zvonem. Na tuto alternativu navazuje návrh experimentu s popisem postupu a jeho uskutečnění v praxi. Na základě dosažených hodnot při experimentu jsou srovnávány výsledky a učiněny závěry pro daný provoz slévárny.

BACHELOR THESIS ANNOTATION

PELZL, M. *Analysis and assessment of usability of different types of refining salts for degassing of AlSi alloy used for die-casting: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Technology, 2010, 50 pages. Thesis tutor: Povýšil, J.

The thesis focuses on AlSi alloy degassing. The character of the alloy and system of melting is described here. Subsequently the current degassing principle by means of rotor equipment is described. This technology is compared with an alternative in the form of degassing salts weighed down by a degassing bell on the ladle bottom. This alternative is followed by a proposal of experiment with process description and its implementation in practice. Based on the values achieved during the experiment, results are compared and conclusions are made for the given foundry operation.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	7
Úvod	8
1.Struktura SIEMENS s.r.o. závod Mohelnice	9
2.Charakteristika slitiny AlSi	12
2.1 Zdroj vodíku ve slitině.....	13
2.2 Tavení slitiny AlSi.....	14
2.2.1 Popis tavicí pece.....	15
2.3 Čištění taveniny AlSi.....	17
2.3.1 Principy odplyňování.....	18
2.3.2 Popis odplyňovacího rotorového zařízení.....	20
2.3.3 Alternativa současné metody odplynění.....	22
2.3.4 Rafinace taveniny.....	22
3.Návrh experimentu pro porovnání použitelnosti různých rafinačních solí	24
3.1 Popis návrhu experimentu.....	24
3.1.1 Odlévání vzorků.....	24
3.1.2 Označování vzorků.....	27
3.1.3 Měření teploty taveniny.....	28
3.1.4 Kovnatost ve strusce.....	28
3.1.5 Měření indexu hustoty.....	28
3.1.5.1 Postup při měření indexu hustoty.....	30
3.1.5.2 Příklad výpočtu indexu hustoty.....	31
3.2 Postup při odběru vzorků.....	32
3.3 Ověření chemického složení.....	32
4.Výsledky provedeného experimentu	34
5.Diskuse výsledků	39
6.Závěr	40
Seznam použité literatury.....	41
Seznam příloh.....	42

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	výklad	jednotka
Al	hliník	
Bi	bismuth	
Ca	vápník	
Cd	kadmium	
Cr	chrom	
Cu	měď	
Fe	železo	
H	vodík	
Mg	hořčík	
Mn	mangan	
Na	sodík	
Ni	nikl	
P	fosfor	
Pb	olovo	
Sb	antimon	
Si	křemík	
Sn	cín	
Sr	stroncium	
Ti	titan	
Zn	zinek	
DI	index hustoty	%
P	tlak	Pa
P_{at}	tlak v atmosféře	Pa
V_{vz}	objem vzorku	m^3
m_{at}	hmotnost vzorku v atmosféře	kg
m_{H_2O}	hmotnost vzorku ponořeného ve vodě	kg
t	teplota	$^{\circ}C$
ρ	hustota vzorku kovu	$kg.m^{-3}$
ρ_{atm}	hustota vzorku kovu, který tuhnul na atmosférickém tlaku	$kg.m^{-3}$
ρ_{vak}	hustota vzorku kovu, který tuhnul v podtlaku 8 kPa	$kg.m^{-3}$
ρ_{H_2O}	hustota vody	$kg.m^{-3}$

Úvod

Tato práce popisuje způsoby, které je možno použít pro čištění taveniny na bázi hliníku, od nežádoucích vměstků a plynů. Hlavní diskutovanou slitinou je AlSi9Cu3, (dále jen AlSi). Její chemické složení, obsah vměstků a plynů přímo ovlivňuje kvalitu odlitku, jeho mechanické vlastnosti a životnost. Z těchto faktů vyplývají nemalé nároky na čistotu slitiny. Dostatečné čistoty slitiny je dosaženo dodržáním přesných technologických postupů a výrobních předpisů. Porovnávacím experimentem a následným vyhodnocením použitelnosti různých druhů rafinačních solí pro odplynění slitiny AlSi je možno pro daný provoz slévárny určit optimální technologii pro odplynění této taveniny.

Čtenář je v této práci zběžně seznámen s historií firmy SIEMENS Elektromotory s.r.o. závod Mohelnice. Práce pokračuje seznámením s charakterem slitiny AlSi a se systémem tavení této slitiny. Dále jsou zde popsány základní mechanismy možných způsobů rafinace a odplynění taveniny AlSi. V následné části je navržena alternativa současné metody odplynění taveniny AlSi a zpracován postup při pokusu a měření. Hlavním smyslem této práce jsou výsledky, které byly při zkoušení solí zjištěny a jejich grafické znázornění. Před závěrem se diskuse věnuje dosaženému výsledku. Na závěr je na základě výsledků alternativní metoda vyhodnocena.

1. Struktura SIEMENS s.r.o. závod Mohelnice

Společnost Siemens Elektromotory dodává na domácí a zahraniční trhy jednofázové asynchronní elektromotory o výkonu 0,09 až 3 kW, třífázové asynchronní elektromotory o výkonu 0,04 až 18,5 kW a třífázové brzdové asynchronní elektromotory o výkonu 0,12 až 10 kW. Kromě závodu v Mohelnici je výroba elektromotorů Siemens ještě ve Frenštátě pod Radhoštěm, kde jsou vyráběny elektromotory s osovou výškou nad 180 mm.

Mohelnický závod vznikl v roce 1904, kdy zde byla založena společnost Ludwig Doczekal & Comp. V roce 1926 byl tento závod spojen s firmou Siemens Praha. Těsně po 2. světové válce byl podnik zestátněn a vznikl jeden z moravských elektrotechnických závodů - MEZ. Po roce 1948 nastal rozkvět výroby elektromotorů a byly budovány nové provozovny. V sedmdesátých letech patřil závod MEZ Mohelnice mezi přední Československé podniky. Na MSV v Brně získala řada elektromotorů 3AT zlatou medaili. V devadesátých letech byla v tomto podniku vybudována nová slévárna odlitků z AlSi a šedé litiny s navazující linkou povrchové úpravy. 1. října roku 1994 do podniku kapitálově vstoupil koncern Siemens AG a byla založena společnost Siemens Elektromotory. Brzy poté byla vybudována nová univerzální lící linka a následovala výroba nové řady elektromotorů typu 1LA7. V letech 1998 až 1999 byla do České republiky převedena výroba elektromotorů z Německa. V roce 2001 byl v Mohelnici zahájen projekt „Koncepce výroby elektromotorů v Evropě“ a ze závodu se tak stalo evropské kompetenční centrum v oblasti výroby elektromotorů. Areál závodu se rozkládá na ploše 36 ha. Podnik v současné době (5/2010) produkuje 4800 kusů elektromotorů denně. Závod v Mohelnici je jedním z největších světových výrobců elektromotorů s osovou výškou do 160 mm. Export těchto výrobků je určen do 58 států na celém světě. Na tuzemský trh se dodává přibližně 5 % produkce. Siemens jako jediná firma na světě pokrývá prakticky celou oblast elektrotechniky a elektroniky. Působí ve více než 190 zemích po celém světě a zaměstnává téměř 350 000 lidí. Siemens Elektromotory v Mohelnici patří s bezmála 1500 pracovníky mezi nejvýznamnější zaměstnavatele v severomoravském regionu a i do budoucna chce podporovat prosperitu regionální i celé české ekonomiky.



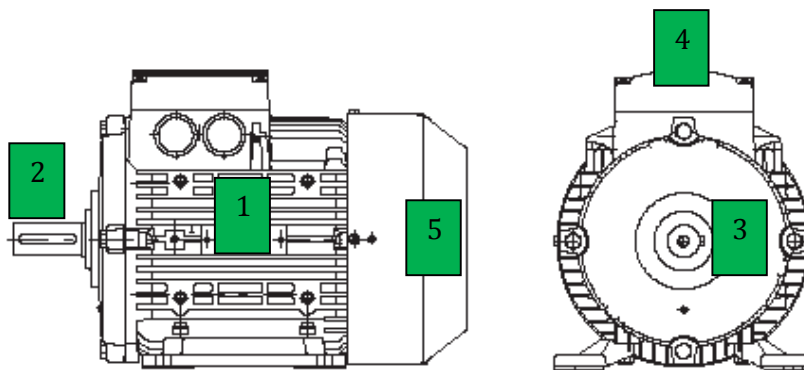
Obrázek 1 - Letecký pohled na Siemens elektromotory, s.r.o., závod Mohelnice

Legenda:

- 1 – Správní budovy
- 2 – Slévárna
- 3 – Obrobná odlitků
- 4 – Navijárna
- 5 – Stará slévárna

- 6 – Lisovna
- 7 – Montáž
- 8 – Předmontáž a montáž
- 9 – Logistické centrum

Hlavní části elektromotoru:



Obrázek 2 - Části elektromotoru

Legenda:

- 1 – kostra elektromotoru, do které je nalisován stator s vinutím
- 2 – rotor s vývodovým hřídelem
- 3 – ložiskový štít
- 4 – víko svorkovnice
- 5 – ventilátor + kryt ventilátoru

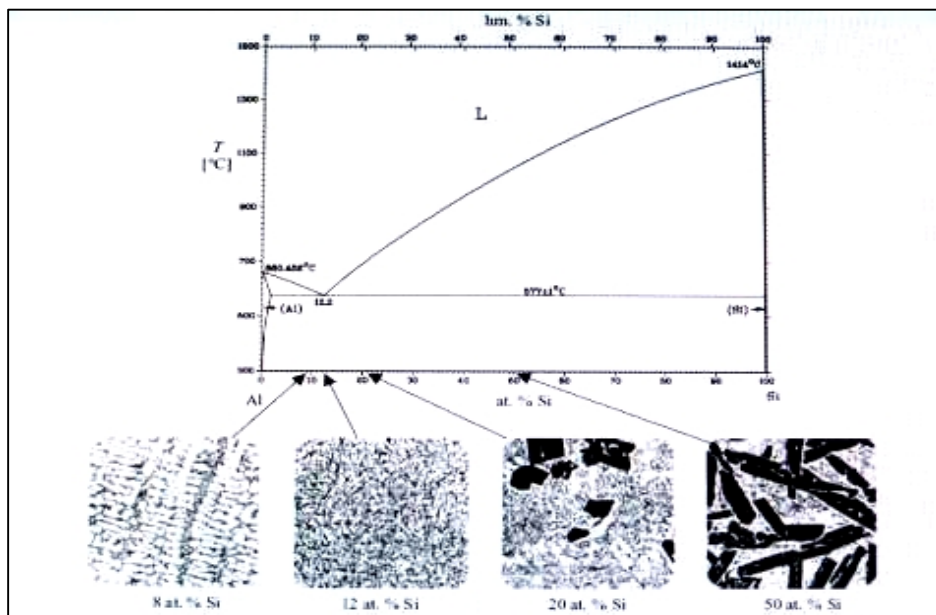
Více než 70% odlitků pro elektromotory, vyráběných ve slévárně Siemens Mohelnice je odlito ze slitiny AlSi. Zbývající množství tvoří odlitky z šedé litiny. Názory na výhodnost použitého materiálu se různí. Hlavními výhodami odlitků z AlSi je nižší hmotnost, lépe odvádí teplo a při lití pod tlakem má přesnější odlitky s menšími přírůstky na obrábění. Také náklady na výrobu odlitku jsou u AlSi nižší, což snižuje cenu motoru a proto je takový na trhu konkurenceschopnější. Může to být také jedním z důvodů k úvahám o konci produkce odlitků ze šedé litiny v roce 2011 a rozšíření výroby odlitků z AlSi.

2. Charakteristika slitiny AlSi

Hliníková slitina používaná k výrobě odlitků ve slévárně podniku je definovaná podle normy ČSN EN 1676, značka EN AB – 46000 (Tabulka 1). Tato slitina je vhodná pro odlévání pod tlakem. Obsah křemíku zlepšuje téměř všechny slévárenské technologické vlastnosti. Její obrobitelnost výrazně zvyšuje obsah mědi. [3]

Složení slitiny [%]			
Si	8,0 – 11,0	Sn	max. 0,1
Fe	0,65 – 1,0	Ti	max 0,15
Cu	2 – 3,5	Ca	< 0,05
Mn	0,1 – 0,5	Sb	< 0,05
Mg	0,1 – 0,5	Bi	< 0,05
Cr	max 0,15	P	< 0,05
Ni	max. 0,3	Na	< 0,05
Zn	max. 1,2	Cd	< 0,05
Pb	max. 0,2	Sr	< 0,05

Tabulka 1 - Rozmezí hodnot prvků slitiny AlSi [%]



Obrázek 3 - Binární diagram AlSi

[1]

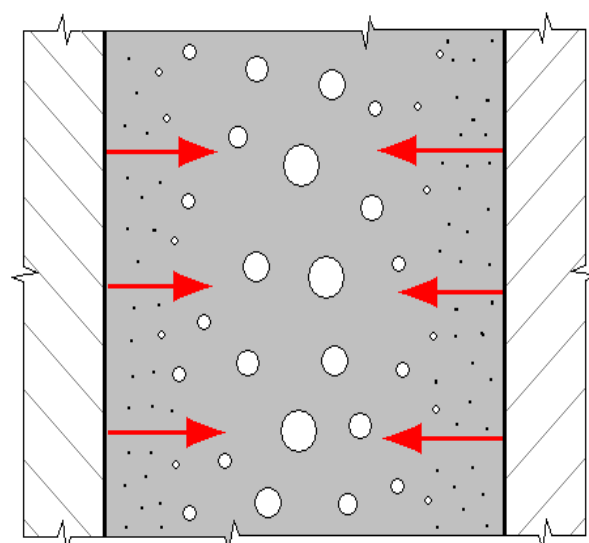
2.1 Zdroj vodíku ve slitině AlSi

Při styku roztaveného hliníku s vodní parou dochází k disociaci vody. Kyslík reaguje s hliníkem za vzniku oxidu hlinitého, přičemž se vodík rozpouští v nataveném kovu. [3]

Obsah vodíku ve slitině po natavení závisí na několika faktorech. Hlavními příčinami přítomnosti vodíku v tavenině jsou použité vsázkové suroviny, druh tavicí pece, a nedostatečně vysušený kelímek. Obvykle je hodnota obsahu vodíku po natavení slitiny AlSi v rozmezí od 0,2 do 0,8 cm³/100g Al. Aby však došlo k zamezení vzniku bublin v odlitku, je třeba snížit tuto hodnotu pod 0,2 cm³/100g Al, ve výjimečných případech pod hranici 0,1 cm³/100 g Al. Přípustná hodnota obsahu vodíku závisí především na technologii odlévání (tlakové lití, gravitačně do kokil, do písku), dále na rychlosti tuhnutí, která je závislá na tloušťce stěny odlitku a materiálu formy. Hlavně však na účelu ke kterému bude odlitek použitý. Všeobecně platí, že vyšší sklon ke vzniku bublin mají odlitky s delší dobou tuhnutí. Proto vyžadují dokonalejší odplynění slitiny než tenkostěnné odlitky a odlitky vyráběné v kovových formách, jejichž tuhnutí je mnohem rychlejší. Odplyňování je metalurgická operace, při níž dochází ke snižování obsahu vodíku na přijatelnou úroveň.

[3]

Z následujícího obrázku 4 je patrný směr tuhnutí - od stěn částí formy ke středu tloušťky stěny odlitku. Při tomto ději dochází také ke změně rozpustnosti vodíku při tuhnutí. V blízkosti tvaru formy, kde je tuhnutí rychlejší je mnoho malých pórů. V blízkosti středu stěny odlitku, kde je tuhnutí pomalejší je méně větších pórů. Vysoká porozita může být způsobena nedostatečně odplyněným kovem.



Obrázek 4 Vznik porozity při tuhnutí odlitku

2.2 Tavení slitiny AlSi

Při procesu tavení slitiny je velmi důležité si uvědomit, že kvalita odlitku nemůže být vyšší než kvalita taveniny. Základem pro požadovanou kvalitu tavby je předepsané chemické složení prvků, dále minimální obsah nežádoucích plynů a vměstků. Kvalitu odlitku může dále ovlivnit: druh vsázkových surovin, technologický postup při procesu tavení, postup při dalším zpracování taveniny a v neposlední řadě způsob a technologie při odlévání. Je všeobecně známo, že nejkvalitnější vsázka je složena ze 100% housek z hutí. Tyto předlité housky mají garantované složení v požadovaných hodnotách, velmi nízký obsah nežádoucích rozpuštěných plynů a nečistot. Při odlévání těchto slitin je však produkován také vratný materiál ve formě vtoků, ledvinek, technologicky nutných zmetků atd. Vratný materiál tvoří při tlakovém lití 20 – 50% hmotnosti z odlevu. Tato hodnota závisí především na typu a konstrukci vtokové soustavy formy. Vratný materiál tedy představuje velký podíl vsázky. V naší slévárně je to v průměru 60% předlité primární housky (obrázek 5) a 40% pak tvoří vtoky, ledvinky a zmetkové odlitky uložené v bunkru pro tyto účely (obrázek 6). Z bunkrů je vratný materiál následně odebírán a za pomoci mostového jeřábu (obrázek 7) dopraven do zavážecího zařízení s váhou (obrázek 8). Zavážecím zařízením je pak dopraven do tavicí pece (obrázek 9). Primární housky jsou vkládány do tavicí pece za pomoci mostového jeřábu s hákem. Pro čištění taveniny od tuhých vměstků je do tavicí pece při tavení přidávána sůl Ecosal Al 113s.



Obrázek 5 - Předlité housky



Obrázek 6 - Vratný materiál



Obrázek 7 - Manipulace s vratným mat.



Obrázek 8 - Zavážecí zařízení s váhou

Vyšší obsah nečistot a rozpuštěných plynů řadí vratný materiál do kategorie méně kvalitních vsázkových surovin. Velmi důležitým faktorem je také tvar a velikost vratného materiálu. Na povrchu každé plochy se totiž vytvoří při styku se vzduchem vrstva oxidů, která má na kvalitu tavby nepříznivý vliv. Z výše uvedeného vyplývá, že nejméně vhodným vratným materiálem jsou plachty vznikající např. v dělicích rovinách forem, úkapy nebo třísky po obrábění odlitků. Tento krajně nevhodný typ materiálu se však k sekundárním tavbám nepoužívá. Důvodem jsou často vysoké požadavky na čistotu slitiny.

2.2.1 Popis tavící pece - INTAL 5/1,5

Tavící pec je určena pro tavení a veškeré další metalurgické zpracování hliníku a jeho slitin. **I** – indukční, **N** – nízkofrekvenční, **T** – tavící, **Al** – pro hliník a jeho slitiny, **5** – jmenovitá hmotnost taveniny v tunách, **1,5** – příkon do pece v MW (50 Hz)

Tavící pec je konstruována jako komplexní celek včetně nosného stojanu a vyklápěcích přímočarých hydromotorů pro usazení do pecní kobky v manipulační plošině tak, že krycí plošina pece lícuje s touto plošinou. Z této plošiny je pec také obsluhována. Vlastní pec je jednou z hlavních částí, ve které je realizováno poslání celého zařízení. Nejdůležitější částí zařízení je indukční cívka, která je vyrobena z dutého obdélníkového profilu z elektrovodné mědi, stočeného ve šroubovici do válcového tvaru. Stěny obdélníkového profilu nemají stejnou tloušťku.

Vnitřní stěna je větší z důvodu snížení proudové hustoty a zvýšení elektrické účinnosti. Dutým vodičem protéká chladicí voda. Cívka má čtyři samostatné chladicí obvody. Je souose umístěna ve válcovém ocelovém plášti, který je hlavním nosným prvkem vlastní pece. Ocelový plášť je na spodním konci opatřen mřížkováným dnem, nesoucím vnitřní částí pece včetně vsázky. Na přední straně u horního okraje je připevněna osa, kolem které se pec otáčí při vylévání nataveného kovu do manipulační pánve. Žáruvzdorný kelímek, ve kterém je kov taven je zadusán přímo do vnitřní válcové dutiny cívky. Mezi vyzdívkou a cívkou je vložena azbestová izolace tloušťky 5 mm, která zabraňuje unikání výduskového materiálu do závitových mezer cívky. Připojení elektrické energie je provedeno ohebnými, vodou chlazenými měděnými lany. Pecní plošina z ocelového rýhovaného plechu tloušťky 10 mm je v místě vývodů cívky opatřena odnímatelnou částí, umožňující montáž cívky. Víko pece slouží k zakrytí taveniny za účelem snížení tepelných ztrát sáláním a tepelného odstínění pro obsluhující personál.



Obrázek 9 - Tavící pec - INTAL 5/1,5

Hlavní části tavící pece jsou:

- Vlastní pec
- Nosný stojan
- Dva přímočaré dvojčinné hydromotory
- Izolační víko pece
- Indukční cívka

5 tun slitiny AlSi což je maximální hodnota pro tuto pec je nataveno z normální teploty kolem 25 °C na požadovanou teplotu 730 – 760 °C za přibližně 5 hodin. Při realizaci výroby k takové skutečnosti dochází jen v případech, kdy je proces tavení v peci rozbíhán po odstávce. Před samotným zahájením tavení slitiny v takových případech musí být pec důkladně vysušená a zahřátá. Při výrobním toku však v tavící peci zůstává přibližně 20% natavené slitiny z důvodu snížení rázů na dno pece při dalším plnění pece vratným materiálem a houskami.

Po natavení na požadovanou teplotu je slitina přelévána z tavící pece do manipulační pánve, která pojme 250 kg AlSi (obrázek 10). Následně je převezena na stanoviště pro odplynění s rotorovým odplyňovacím zařízením.



Obrázek 10 - Přelévání taveniny z tavící pece do manipulační pánve.

2.3 Čištění taveniny AlSi

Ošetření taveniny AlSi před odléváním se provádí z různých důvodů. Hlavními důvody jsou zejména vysoký obsah vodíku a přítomnost pevných vměstků v tavenině.

Pro snížení obsahu vodíku nebo-li odplyňování existuje několik metod. V určitém provozu slévárny, nebo pro určité technologie odlévání je vhodnost metod často omezeno na jednu z nich. Nejčastěji používanou technologií pro odplynění slitiny AlSi

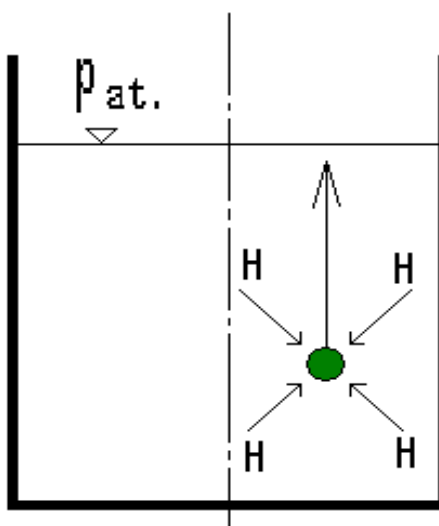
je probublávání taveniny nosnými plyny. Méně častou metodou je potom vakuování taveniny, která je velmi účinná ale také nákladná.

2.3.1 Principy odplyňování

A. Princip odplyňování probubláváním plyny

Tato metoda je založena na difuzi vodíku do bublin s nulovým parciálním tlakem vodíku, s nimiž je vynášen na hladinu. Vzájemná výše reakce vháněného plynu s vodíkem potom tyto děje rozděluje na odplyňování inertními plyny nebo aktivními plyny. Na obrázku 11 je znázorněn princip metody probubláváním. Zelená bublina nosného plynu byla ke dnu pánve dopravena buď rotorem odplyňovacího zařízení nebo vznikla rozkladem z odplyňovací soli. Při jejím vynášení směrem k hladině probíhá difuze vodíku. Pro odplyňování slitin hliníku jsou používány nejčastěji **inertní plyny** dusík nebo argon. Rozdíl v účinku při odplyňování mezi dusíkem a argonem je zanedbatelný. Odborníci na tuto tematiku však tvrdí, že při odplyňování argonem vzniká na hladině po odplynění méně strusky (stěr). Rozhodující výhodou dusíku je jeho nižší cena a proto je k odplynění AlSi používán ve většině českých sléváren.

[3]



Obrázek 11 - Difuze vodíku do bubliny nosného plynu a současné vynesení na hladinu taveniny.

Inertní plyny jsou vháněny do taveniny za pomoci rotorových zařízení, nebo jsou uvolňovány z odplyňovacích solí v blízkosti dna kelímku tak, aby tvořily co nejmenší bubliny.

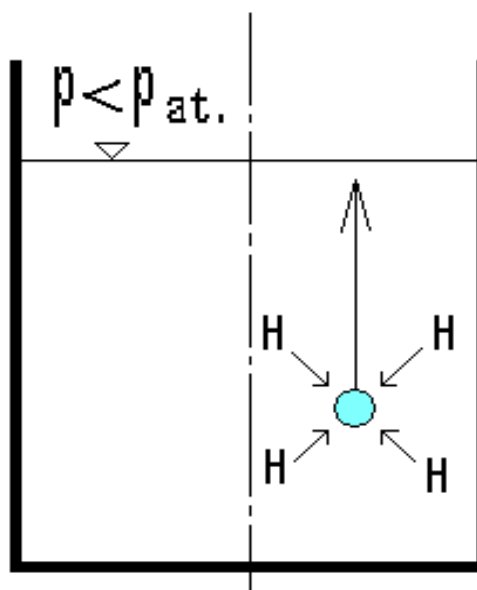
Bubliny nosného plynu se plní vodíkem při vyplouvání k hladině taveniny. Přesun vodíku z taveniny do bubliny končí v momentu, kdy se vyrovná parciální tlak vodíku v bublině a v tavenině. Kvalita odplynění je dána velikostí dotykové plochy bublin nosného plynu a taveniny, také délkou dráhy vynášení k hladině taveniny a rychlostí, kterou bubliny vyplouvají na hladinu taveniny. Při těchto podmínkách je patrné, že účinné odplynění taveniny probíhá při vytvoření co nejmenších bublin dusíku u dna dostatečně vysoké pánve nebo kelímku. Další velmi důležitou podmínkou je vysoká čistota rafinačního plynu nebo rafinační soli zbavené vlhkosti. Je samozřejmé, že nosný plyn obsahující nadměrné množství vlhkosti je pro účely odplyňování taveniny AlSi nevyhovující. [3]

Aktivní plyny jsou takové, které v kombinaci s vodíkem tvoří chemickou sloučeninu. Nejčastěji používanými aktivními plyny jsou chlor nebo fluor. Stupeň odplynění aktivními plyny oproti interním plynům je na vyšší úrovni. Použití solí, které chlór uvolňují, nebo chloru samotného však koliduje se současnými ekologickými předpisy. Chlor je jedovatý plyn působící korozivně a navíc má podíl na porušování ozónové vrstvy atmosféry naší země. Proto je použitelnost chlorových přípravků velmi omezena. Není-li však jiná možnost, může být chlor použit ve směsi s neutrálním plynem. Jeho podíl však nesmí být větší než 15%. Fluor by byl pro odplyňování slitin AlSi nejefektivnější variantou s dosažením velmi vysoké kvality. Stěry z reakcí se snadno odstraňují, tuhé vměstky jsou výborně vyčištěny. V ČR je však používání tohoto plynu k těmto účelům zakázáno. Důvodem je vysoká agresivita a toxicita. [3]

B. Princip odplyňování vakuováním

Je založen na snížení tlaku v prostoru nad hladinou kovu v tekutém stavu. Provádí se po dosažení požadované teploty, kdy je pánve s kovem přepravena do vakuovacího zařízení. Po uzavření vakuovacího zařízení je v odplyňovací komoře vytvořen podtlak.

Pracovní tlak v komoře se pohybuje okolo 5 kPa. Při 20-ti násobném snížení atmosférického tlaku se snižuje rozpustnost vodíku v tavenině přibližně 4,5 krát. Doba odplyňování zpravidla nepřekračuje 10 minut. Při této metodě je dosahováno velmi intenzivního odplynění taveniny, a to až na hodnoty $0,07\text{cm}^3 / 100\text{ g Al}$. V praxi je tento způsob používán méně často než probublávací technologie. Modrá bublina vodíku na obrázku 12 vznikla v momentě, kdy se začala vlivem podtlaku v prostoru nad hladinou kovu snižovat rozpustnost vodíku v tavenině. Tato bublina je následně vynášena na hladinu roztaveného kovu. [3]



Obrázek 12 - Snižování rozpustnosti vodíku v tavenině a jeho následné vynášení na hladinu taveniny, při odplyňování vakuováním.

2.3.2 Popis odplyňovacího rotorového zařízení

Rotorové odplyňovací zařízení je používáno ve slévárně podniku v současné době. Jedná se o zařízení, v nichž je nosný plyn vháněn do taveniny kovovým, keramickým nebo grafitovým rotorem. Elektromotorem poháněný rotor na hřídeli má tvar dmyhadla. Plyn je k rotoru přiváděn osou hřídele od tlakové láhve. Otáčky rotoru je možno nastavit v rozmezí 250 – 500 ot/min. Do taveniny jsou přes roztočený rotor vháněny bubliny plynu o průměru 1 – 4 mm. Nosným plynem bývá nejčastěji dusík o velmi vysoké čistotě. Díky rozměrům bublin v intenzivně míchané tavenině je zajištěna dobrá účinnost odplyňování. Průměrná doba odplyňování jedné dávky činí 5 minut.



Obrázek 13 - Rotorové odplyňovací zařízení s přistavenou manipulační pánví

V našem provozu je doba odplyňování stanovena technologickým postupem na 4 minuty. Otáčky rotoru jsou nastaveny na 300 ot/min.

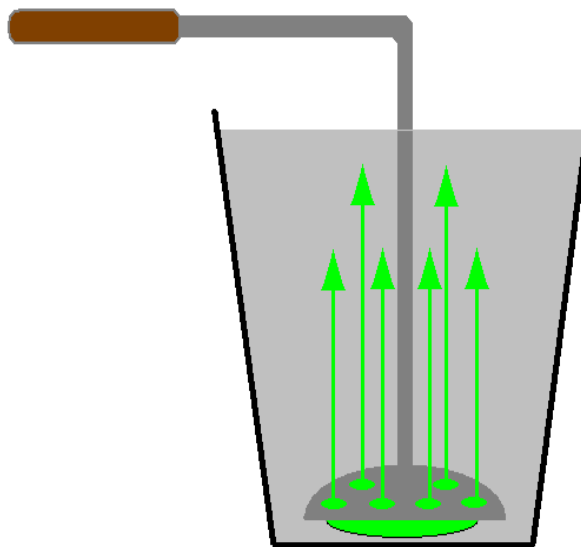


Obrázek 14 - Reakce taveniny při odplyňování pomocí rotorového zařízení. Z ponořeného a roztočeného rotoru v tavenině vystupují u dna manipulační pánve bublinky nosného plynu.

2.3.3 Alternativa současné metody odplynění

Snižování obsahu vodíku v tavenině odplyňovací soli zatížené odplyňovacím zvonem u dna manipulační pánve

Odplyňovací soli jsou směsi sloučenin, které se rozkládají za působení teploty taveniny, přičemž vzniká plynný dusík, popřípadě chlor nebo fluor. Sůl je ve formě granulátu, tablet nebo prášku. Pokládá se na hladinu roztavené slitiny a bezprostředně poté je pomocí ponorného zvonu přepravena ke dnu lící pánve nebo manipulačního kelímku. U dna pánve nebo kelímku dochází vlivem teplot k rozkladu soli za vzniku plynného dusíku. Při cestě bublin plynného dusíku směrem k hladině taveniny (obrázek 15) pak dochází k přesunu vodíku z taveniny do bublin plynného dusíku. (výše popsáný princip difuze). Tento systém odplynění byl použit pro porovnávání odplyňovacích solí v této práci.



Obrázek 15 - Odplynění taveniny rafinační soli.

2.3.4 Rafinace taveniny

Rafinací taveniny AlSi je označován proces, při kterém je snižováno množství pevných vměstků v tavenině. K minimalizaci pevných vměstků v taveninách AlSi existuje několik metod. Nejčastější je chemická vazba vměstků pomocí krycích a rafinačních solí. K častým metodám patří také mechanické zachycování vměstků filtrací taveniny. Ke snižování vměstků dochází i při odstátí taveniny. Pevné vměstky se dělí na kovové a nekovové. Kovové vměstky jsou nejčastěji nedokonale rozpuštěné legující prvky. Nekovové vměstky představují často úlomky vyzdívek tavicích pecí nebo lících pávnů.

A. Chemická vazba krycích a rafinačních solí

Krycí soli jsou směsí fluoridů a chloridů. Používají se za účelem zabránění přímého styku taveniny s vlhkostí a kyslíkem v atmosféře. Aby bylo zabráněno absorpci vlhkosti do krycích solí ještě před jejich použitím, musejí být skladovány v suchu a uzavřených obalech. Před samotným použitím jsou krycí soli preventivně přesušovány při teplotách kolem 200°C. [3]

Rafinační soli se používají s cílem snížit v tavenině množství pevných vměstků, ale také snížení kovnatosti ve strusce stahované z hladiny taveniny. Jejich základ tvoří chloridová a fluoridová sůl. Chemickým navázáním jsou také schopny vynášet pevné vměstky na hladinu taveniny. [3]

B. Filtrace taveniny

K filtraci taveniny se používají keramické filtry, tkaninové filtry nebo kovová sítká. Jejich posláním je zachytit pevné vměstky při přelévání taveniny z tavicí pece do manipulační pánve nebo z manipulační pánve do udržovací pece. V některých případech je tento úkon prováděn přímo při odlévání do forem. Vlastní princip filtrace spočívá v usazování vměstků na přední straně filtru, při průchodu taveniny přes filtr. K minimalizaci vměstků může docházet také usazováním pevných vměstků uvnitř filtru. Tímto způsobem je možno oddělit od taveniny i pevné vměstky o velikosti 20 mikrometrů. [2]

3. Návrh experimentu pro porovnání použitelnosti různých rafinačních solí

V této části práce je popisován návrh experimentu pro porovnání rafinačních solí. Je zde uveden technologický postup při realizaci experimentu, popisy měření naplynění této taveniny a popisy použitých zařízení a měřidel.

3.1 Popis návrhu experimentu

V úvodu porovnávacího experimentu bude tavenina odplyněna současně používanou technologií – rotorovým zařízením, pro zjištění případného rozdílu s alternativní metodou. Alternativní metodou bude tavenina odplyňována za pomoci rafinačních solí, používaných k odplynění slitiny AlSi, zatížených odplyňovacím zvonem u dna manipulační pánve (obrázek 15). Tímto způsobem bude porovnáváno 5 druhů solí. Každá z těchto solí byla dodána v igelitovém balení, aby bylo zabráněno absorpci okolní vlhkosti.

3.1.1 Odlévání vzorků

Z důvodu výrobního toku materiálu a také obav z přehřívání vakuovacího testeru během odebírání vzorků bude pro odlití každé sady vzorků použita vždy první odebraná pánev z nově natavené slitiny v tavicí peci. Z těchto důvodů bude nutné experiment rozvrhnout do několika dnů. Z každé tavby bude zaznamenán poměr vratného materiálu a primárních housek.

U všech odplyňovacích solí budou před testováním měřeny hmotnosti. Všechny testované soli se dávkují ve stejném hmotnostním poměru. Pro 250 kg taveniny obsažené v manipulační pánvi odpovídá 0,5 kg odplyňovací soli.

Po dosažení požadované teploty natavené slitiny v tavicí peci je z hladiny taveniny stažena struska (obrázek 9). Následným krokem je naplnění předeřhřáté manipulační pánve natavenou slitinou (obrázek 10) a transport k místu, kde bude experiment realizován (obrázek 13). Manipulační pánev je před naplněním ohřívána, aby nedocházelo k nežádoucímu rychlému chládnutí taveniny vlivem přestupu tepla do stěn pánve a následnému prnutí ve stěnách pánve (obrázek 16).



Obrázek 16 - Předehřívání manipulační pánve.

Na místě určeném pro realizaci experimentu bude odebrána první dvojice vzorků, z nichž jeden ztuhne na atmosférickém tlaku a druhý v podtlakové komoře při tlaku 8 kPa. Toto zařízení disponuje možností přesného nastavení tlaku v podtlakové komoře a časového intervalu. Dále bude změřena teplota taveniny v manipulační pánvi. Předem vážené množství testované rafinační soli bude nasypáno na hladinu taveniny v manipulační pánvi obr. 18. Ihned po tomto kroku bude za pomoci



Obrázek 17 - Zařízení pro podtlakovou zkoušku indexu hustoty.



Obrázek 18 - Sůl na hladině taveniny.



Obrázek 19 - Zatížení soli odplyňovacím zvonem



Obrázek 20 - Odplyňovací reakce

odplyňovacího zvonu sůl zatížena u dna manipulační pánve obr. 15, 19 a 20. Vzápětí vznikne odplyňovací reakce, která se projevuje zneklidněním hladiny způsobeném vybubláváním nosného plynu. V tuto dobu dochází k přesunu nežádoucího vodíku do nosného plynu. Po odeznění reakce a vyplavení strusky, obsahující též vměstky a nečistoty, bude odplyňovací zvon vyjmut z taveniny.

Z hladiny taveniny bude stažena a odebrána struska, označena a uschována pro pozdější zjištění obsahu kovu v ní. To proběhne vytavením slitiny ze strusky. Následně bude z odplyněné taveniny odebrána druhá dvojice vzorků, která ztuhne při stejných podmínkách jako první dvojice. Po následném 2. změření teploty bude po 5-ti minutách 5 krát odebírána dvojice vzorků, které ztuhnou při stejných podmínkách jako první a druhá dvojice. Při každém odběru bude změřena teplota taveniny.

Postup popsáný v předchozím odstavci bude identicky uskutečněn pro každou testovanou odplyňovací sůl. V případě odplynění současně používanou technologií bude postup podobný s tím rozdílem, že nasypání odplyňovací soli na hladinu taveniny a následném zatížení u dna manipulační pánve s vyjmutím zvonu po odeznění reakce bude nahrazeno použitím rotorového zařízení obrázek 13 a 14.

Po ztuhnutí vzorků je nebude možné z důvodu jejich stále vysoké teploty odkládat na předem připravené plochy pro vzorky (viz. příloha C). Proto budou stavěny a rovnány návazně vedle této plochy. Po jejich úplném vychladnutí budou označeny popisem (psacím fixem) pro jejich identifikaci a uloženy na příslušné místo na ploše s identickým popisem. Při odlévání každé sady (7 dvojic) vzorků bude také odlitý a řádně označený písmenem značící sůl jeden vzorek pro změření chemického složení slitiny. Tento vzorek je odlit do speciální kokily.



Obrázek 21 - Odebírání taveniny.



Obrázek 22 - Odlévání vzorku.

Odebírání vzorků bude provedeno ruční naběračkou z manipulační pánve obr. 21 a nalitím do přípravků – ocelových kelímků obr. 22, v nichž ztuhnou každý při jiném tlaku. Následně z nich budou vzorky vyjmuty vyklopením a narovnány ve dvou řadách vedle předem připravené plochy pro vzorky.

3.1.2 Označování vzorků:

Každý odlitý vzorek je označen nezaměnitelným popisem, ze kterého bude možno později identifikovat sůl testovanou při jeho odlití, to jestli ztuhlul na atmosférickém tlaku nebo v podtlaku 8 kPa a dobu odběru od začátku odplynění v minutách (v případě označení hodnotou 5 se jedná o konec odplynění, nikoliv o odběr po 5-ti minutách od začátku odplynění)

1 Příklad: označení **BP-20** označuje vzorek odlitý při testování soli **B**, který ztuhlul při **P**odtlaku 8 kPa, odebraný po **20** – ti minutách od začátku odplyňování.

2 Příklad: označení **DA-5** označuje vzorek, odlitý při testování soli **D**, který ztuhlul na **A**tmosférickém tlaku, odebraný po ukončení odplynění v době, kdy odezněla reakce.

3.1.3 Měření teploty taveniny

Teplota taveniny byla měřena a zaznamenána vždy těsně před odběrem každé dvojice vzorků. Pro tyto účely posloužil běžně používaný teploměr složený z termočlánku, el. kabelu a přístrojem pro převod hodnoty teploty na stupně celsia s displejem.

3.1.4 Kovnatost ve strusce

Pro zjištění kovnatosti ve strusce byla z uschovaných a označených strusek vytavena zbylá slitina a hodnoty hmotnosti obsaženého kovu zaznamenány. Struska není za normálních okolností přetavována. Tento krok byl učiněn pro zjištění případných ztrát kovu po aplikaci různých solí.

3.1.5 Měření indexu hustoty

Dnešní moderní technologie ve slévárenství nám neumožňuje zbavit se tradičních neduhů při přetavování a odlévání hliníku. Předtím, než se hliníková tavenina použije k výrobě odlitku, provádí se často některé úpravy taveniny. V našem případě se jedná zejména o odplyňování taveniny. Naplynění je vyvoláno absorpcí vodíku, což je jediný plyn, který je schopen se rozpouštět v těchto slitinách ve velkém množství. Zdrojem jeho rozpouštění je vzdušná vlhkost, vlhkost kelímku, tavících přípravků a náradí. Bubliny vytvářející se při tuhnutí nedostatečně odplyněné taveniny výrazně snižují mechanické vlastnosti odlitku. [2]

Pro kontrolu naplynění taveniny AlSi je v praxi běžně používána metoda dvojího měření, při které se stanovuje index hustoty. V současné době je ve slévárnách tato metoda nejběžnější. Při běžném lití se vhodná hodnota indexu hustoty pohybuje do 4%.

Metoda dvojího měření je založena na principu Archimédova zákona. Porovnávané hustoty dvou vzorků, z nichž jeden ztuhl při atmosférickém tlaku a druhý při podtlaku 8 kPa. Vzorek, který ztuhl při atmosférickém tlaku, je ovlivněn obsahem vodíku jen nepatrně, za to na vzorku, který tuhne při podtlaku 8 kPa, je možno často i vizuálně pozorovat přes průzor víka vakuovací komory (na obrázku 17) zvětšování jeho objemu, přičemž klesá jeho hustota.

Na obrázku 23 vpravo je zachycena dvojice vzorků, z nichž levý ztuhl při atmosférickém tlaku a pravý při podtlaku 8 kPa. Na průřezu vzorkem ztuhlého při podtlaku 8 kPa pod nimi je vidět přítomnost nežádoucího plynu v tavenině.

Hustoty vzorků porovnávané podle tzv. indexu hustoty. Čím menší je rozdíl v hustotě obou vzorků, tím čistší je tavenina.

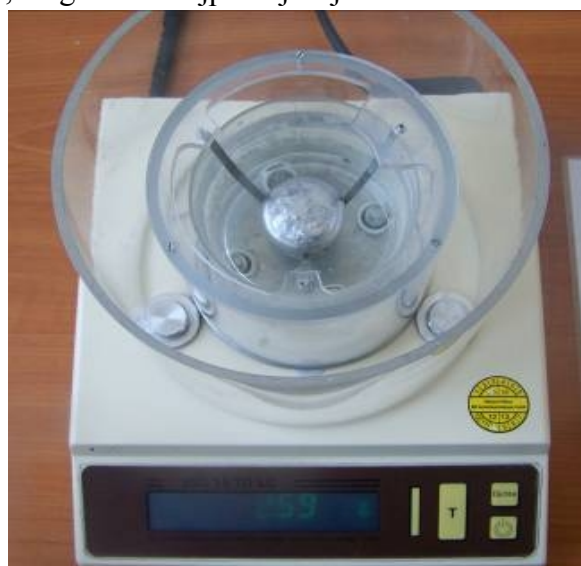


Obrázek 23 - Dvojice vzorků v řezu [4]

Uskutečněná metoda měření je založena na principu Archimédova zákona. Zařízení s označením **mk 2610 LC**, které bude použito, je určeno k těmto účelům. Jedná se o zařízení, které váží s přesností na 0,01 gramu. Nejprve je zjištěna hmotnost na vzduchu a hmotnost vzorku ponořeného ve vodě u vzorku ztuhlého při atmosférickém tlaku.

Následně je zjištěna hustota tohoto vzorku. Potom je zjištěna hmotnost na vzduchu a hmotnost ve vodě vzorku ztuhlého při podtlaku 8 kPa. Následně je zjištěna hustota tohoto vzorku.

Poslední získanou hodnotou je index hustoty v %. Tato hodnota je stanovena jako nevyhovující pro odlévání ve slévárně Siemens elektromotory s.r.o. v Mohelnici v případě, že překročí 4 %.



Obrázek 24 - Zařízení **mk 2610 LC** pro měření indexu hustoty.

Tento způsob testování taveniny je jednoduchý a tím i velmi spolehlivý v provozu. Bez této metody se dnešní moderní provoz na výrobu hliníkových odlitků prakticky neobejde.

3.1.5.1 Postup při měření indexu hustoty na zařízení mk 2610 LC

1. Vážení vzorku, který ztuhnul při atmosférickém tlaku.
2. Vážení vzorku ponořeného ve vodě, který ztuhnul při atmosférickém tlaku.
3. Vážení vzorku, který ztuhnul při podtlaku 8 kPa.
4. Vážení vzorku ponořeného ve vodě, který ztuhnul při podtlaku 8 kPa.
5. Zařízení pracuje automaticky na principu výpočtu [1.1], [1.2].

$$\rho = \frac{m_{at}}{(m_{at} - m_{H_2O})} \cdot \rho_{H_2O} \quad [1.1]$$

$$DI = \frac{(\rho_{atm} - \rho_{vak})}{\rho_{atm}} \cdot 100 \quad [1.2]$$

Kde:

ρ	-hustota vzorku kovu	$(kg.m^{-3})$
ρ_{H_2O}	-hustota vody	$(kg.m^{-3})$
m_{at}	-hmotnost vzorku v atmosféře	(kg)
m_{H_2O}	-hmotnost vzorku ponořeného ve vodě	(kg)
DI	-index hustoty	$(\%)$
ρ_{atm}	-hustota vzorku kovu, který tuhnul na atmosférickém tlaku	$(kg.m^{-3})$
ρ_{vak}	-hustota vzorku kovu, který tuhnul v podtlaku 8 kPa	$(kg.m^{-3})$

3.1.5.2 Příklad výpočtu indexu hustoty.

Hustota vzorku, který tuhnul v podtlaku: dle vzorce [1.1]

$$\rho_{vak} = \frac{76,28}{(76,28 - 43,04)} \cdot 0,998 = \underline{2,29 kg \cdot m^{-3}}$$

Hustota vzorku, který tuhnul na atmosférickém tlaku: dle vzorce [1.1]

$$\rho_{atm} = \frac{69,71}{(69,71 - 43,46)} \cdot 0,998 = \underline{2,65 kg \cdot m^{-3}}$$

Index hustoty: dle vzorce [1.2]

$$DI = \frac{(2,65 - 2,29)}{2,65} \cdot 100 = \underline{13,58\%}$$



Obrázek 25 - Znárodnění systému uspořádání vzorků jedné sady. Z této plochy byly vzorky odebírány při měření indexu hustoty a postupně ukládány zpět. Plocha sloužila také k ručnímu zápisu poznámek z naměřených hodnot.

3.2 Postup při odběru vzorků

1. Natavení slitiny na teplotu 730 – 760 °C
2. Stažení strusky z hladiny taveniny v tavicí peci před dávkováním do manipulační pánve, naplnění přehřáté manipulační pánve taveninou z tavicí pece a transport taveniny k místu, kde bude proveden odběr vzorků.
3. Změření teploty taveniny a záznam.
4. Odebrání taveniny přehřátou ruční naběračkou z manipulační pánve
5. Odlev taveniny z ruční naběračky do připravené dvojice kelímků (jeden v otevřené vakuovací komoře, druhý na podstavci vedle komory).
6. Spuštění odsávání vzduchu z vakuovací komory, seřízení podtlaku ve vakuovací komoře na 8 kPa a nastavení doby, po kterou bude v komoře udržován podtlak 8 kPa na 4 minuty (po uplynutí této doby bude ve vakuovací komoře automaticky zvýšen tlak na atmosférický).
7. Vysypání testované odplyňovací soli na střed hladiny taveniny v manipulační pánvi a zatížení testované odplyňovací soli u dna manipulační pánve přehřátým odplyňovacím zvonem. Následný průběh reakce rozpouštění odplyňovací soli je znatelný zneklidněním hladiny taveniny v manipulační pánvi. Po odeznění reakce vyjmout odplyňovací zvon z manipulační pánve a stáhnout strusku z hladiny taveniny. Strusku odložit do připravené a řádně označené plechové nádoby.
8. Zakrytí horní části manipulační pánve tepelnou izolací (důvodem je zpomalit chlazení taveniny během odběrů vzorků).
9. Po zvýšení tlaku ve vakuovací komoře na atmosférický položit ztuhlé vzorky na příslušná místa vedle plochy pro vzorky.
10. Tento postup je opakován po pěti minutách od bodu č. 3 do bodu č. 9. Bod č. 7 se do konce odběru sady neprovádí.

3.3 Ověření chemického složení

Při odběru každé sady vzorků byl také odlitý a označený jeden vzorek pro měření chemického složení. Měření chemického složení bylo uskutečněno na zařízení Spectrolab na obr. 26. Na obr. 27 je znázorněn vzorek s vybroušenou spodní plochou, upnutý nad elektrodou. Ke kalibraci tohoto měřícího zařízení slouží referenční materiál obr. 28. Zařízení je dále vybaveno vnitřní klimatizací.



Obrázek 26 - zařízení pro analýzu chemického složení materiálu



Obrázek 27 - upnutý vzorek pro analýzu chemického složení

Úkolem optického spektrometru je soustředit maximální množství spektrální energie, která je nositelem analytické informace. Mezi vzorkem a elektrodou vzniká elektrický oblouk v ochranné atmosféře argonu o velmi vysoké čistotě. Paprsky světla potom proletí přes vstupní štěrbinu v podobě zirkonového skla a odrazí se od konkávního zrcadla k rovinné difrakční mřížce. Z této mřížky potom směřují přes konkávní zrcadlo do fotonásobiče. Fotonásobič je propojen s PC, kde následně probíhá sběr dat.



Obrázek 28 - referenční materiál

4. Výsledky provedeného experimentu

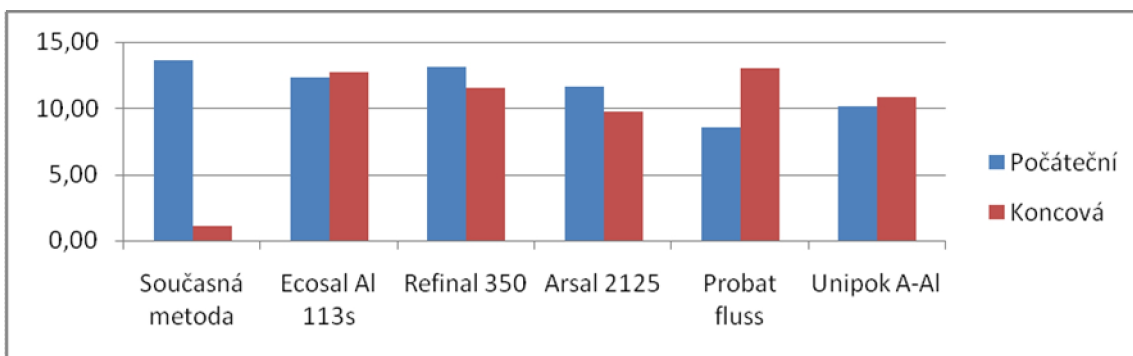
V této části bakalářské práce jsou k dispozici všechny naměřené nebo dopočítané hodnoty získané při realizaci experimentu. Tabulky vytvořené pro tento účel doplňuje grafické znázornění.

Applikovaná metoda	Název	Pořadí odběru	INDEX HUSTOTY [%]						
			0 min	Konec raf.	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
Současná technologie (X)	Rotorové zařízení	1	13,58	0,74	0,74	1,11	0,74	1,11	1,11
Sůl (A)	Ecosal Al 113s	2	12,36	12,36	12,36	12,73	11,24	12,69	12,73
Sůl (B)	Refinal 350	3	13,16	8,92	10,07	9,33	10,82	10,78	11,52
Sůl (C)	Arsal 2125	4	11,61	10,86	10,11	10,07	9,70	9,33	9,70
Sůl (D)	Probat - fluss	5	8,55	13,01	11,19	13,81	12,31	13,43	13,06
Sůl (E)	Unipok A-Al	6	10,11	10,82	11,19	10,82	9,29	9,67	10,78

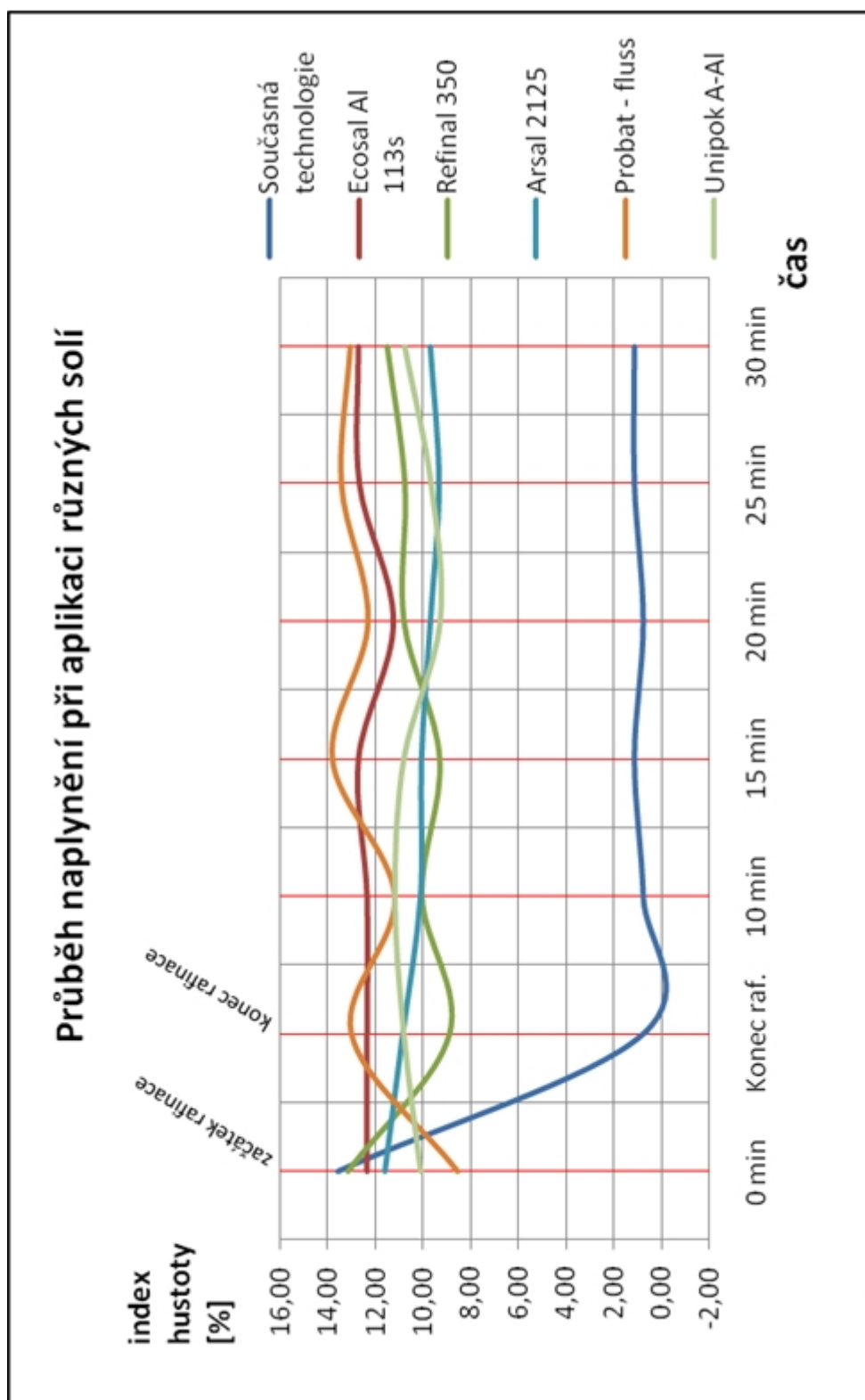
Tabulka 2 - hodnoty indexu hustoty. Tabulku doplňuje graf 2.

POČÁTEČNÍ A KONCOVÉ HODNOTY INDEXU HUSTOTY [%]						
	Současná technologie	Ecosal Al 113s	Refinal 350	Arsal 2125	Probat fluss	Unipok A-Al
Počáteční	13,58	12,36	13,16	11,61	8,55	10,11
Koncová	1,11	12,73	11,52	9,7	13,06	10,78

Tabulka 3 - Počáteční a koncové hodnoty indexu hustoty. Tabulku doplňuje graf 1.



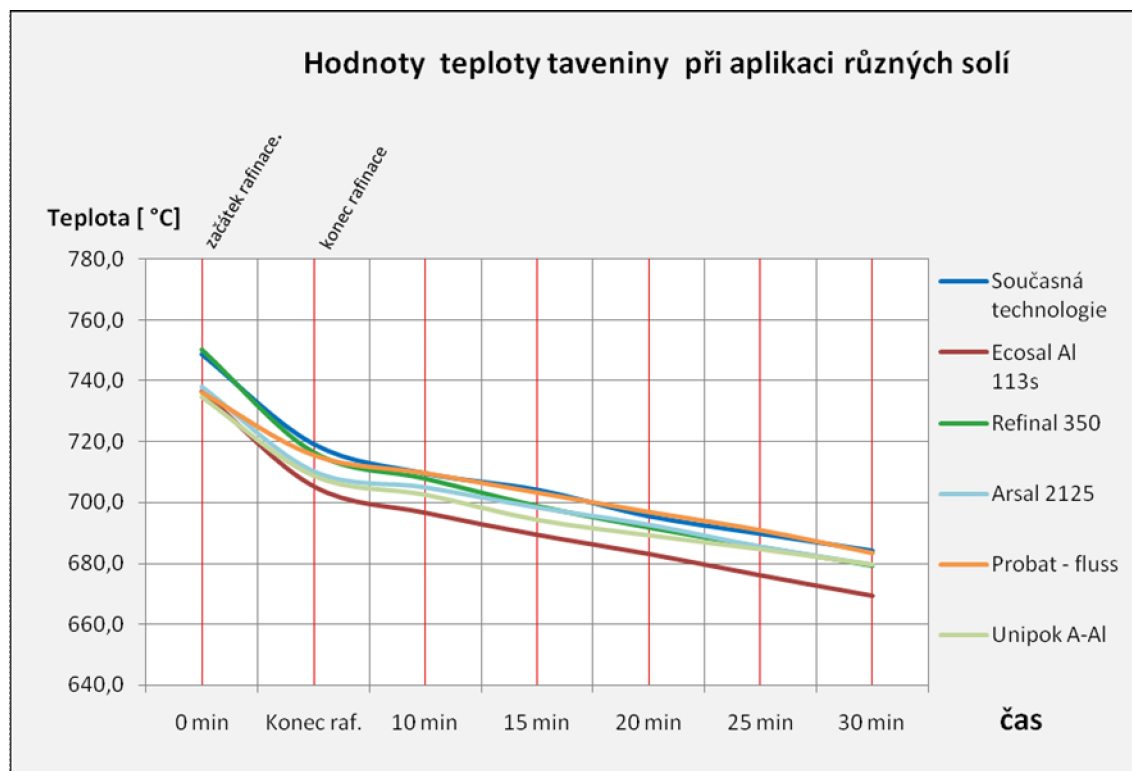
Graf 1 - Porovnání počátečních a koncových hodnot indexu hustoty.



Graf 2 Průběh naplynění taveniny během rafinace a po ní. Z grafu je patrné, že nejlepší účinek zajišťuje současná metoda odplynění.

Aplikovaná metoda	Název	Pořadí odběru	Teplota [°C]						
			0 min	Konec raf.	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
Současná technologie (X)	Rotorové zařízení	1	748,9	719,3	709,6	704,2	695,5	689,7	684,1
Sůl (A)	Ecosal Al 113s	2	736,5	705,4	696,7	689,5	683,2	676,2	669,5
Sůl (B)	Refinal 350	3	750,5	716,7	708,0	699,0	691,9	685,5	679,3
Sůl (C)	Arsal 2125	4	738,2	710,4	705,1	698,5	692,8	685,6	679,7
Sůl (D)	Probat - fluss	5	736,2	715,5	709,6	703,2	696,8	690,8	683,3
Sůl (E)	Unipok A-Al	6	734,9	708,9	702,6	694,3	689,2	684,6	679,5

Tabulka 4 - Hodnoty teplot při odbírání vzorků. Tabulku doplňuje graf 3.



Graf 3 - Teplotní spád při odběrech vzorků. Mírný zlom na konci rafinace je způsoben instalací tepelné izolace po vyjmutí odplyňovacího zařízení.

Složení vsázky							
Aplikovaná metoda	Název	Pořadí odběru	Housky [kg]	Vrat [kg]	Housky [%]	Vrat [%]	Celkem [%]
Současná technologie (X)	Rotorové zařízení	1	1652	1062	60,9	39,1	100
Sůl (A)	Ecosal Al 113s	2	1444	920	61,1	38,9	100
Sůl (B)	Refinal 350	3	1106	730	60,2	39,8	100
Sůl (C)	Arsal 2125	4	1016	672	60,2	39,8	100
Sůl (D)	Probat - fluss	5	1243	798	60,9	39,1	100
Sůl (E)	Unipok A-Al	6	1134	710	61,5	38,5	100

Tabulka 5 - Složení vsázky jednotlivých taveb pro experiment.

Kovnatost ve strusce					
Aplikovaná metoda	Název	Pořadí odběru	Hmotnost strusky s obsahem kovu* (kg)	Hmotnost kovu vytaveného ze strusky* (kg)	Vytavený kov ze strusky (%)
Současná technologie (X)	Rotorové zařízení	1	1,395	0,453	0,181
Sůl (A)	Ecosal Al 113s	2	1,217	0,308	0,123
Sůl (B)	Refinal 350	3	1,233	0,263	0,105
Sůl (C)	Arsal 2125	4	0,862	0,165	0,066
Sůl (D)	Probat - fluss	5	1,534	0,492	0,197
Sůl (E)	Unipok A-Al	6	0,902	0,288	0,115

Tabulka 6 - udává množství slitiny AlSi ve struskách při různých metodách.

* Hmotnost na 250 kg taveniny v manipulační pánvi.

Ekonomické vyhodnocení – náklady na soli									
Aplikovaná metoda	Název	Pořadí odběru	cena za 1kg (Kč)	spotřeba AlSi za jednu pracovní směnu (t)	počet pracovních směn za měsíc	spotřeba AlSi za jeden měsíc (t)	Spotřeba soli na 1 tunu AlSi (kg)	spotřeba soli za 1 měsíc (kg)	náklady na nákup soli za 1 měsíc (Kč)
Sůl (A)	Ecosal Al 113s	2	28	5	70	350	2	700	19 600,00
Sůl (B)	Refinal 350	3	31	5	70	350	2	700	21 700,00
Sůl (C)	Arsal 2125	4	25	5	70	350	2	700	17 500,00
Sůl (D)	Probat - fluss	5	32	5	70	350	2	700	22 400,00
Sůl (E)	Unipok A-Al	6	36	5	70	350	2	700	25 200,00

Tabulka 7 - Případné náklady na nákup různých solí

Finanční náklady na provoz současně používané technologie se pohybují v průměru **43 000 Kč** za jeden měsíc.

Ekonomické vyhodnocení - náklady celkem							
Aplikovaná metoda	Název	Pořadí odběru	Cena za 1 kg nakupované slitiny (Kč)	Kov obsažený ve strusce za jeden měsíc (kg)	Ztráty kovu za jeden měsíc (Kč)	Náklady na nákup soli, nebo provoz současně technologie za jeden měsíc (Kč)	Náklady za jeden měsíc celkem (Kč)
Současná technologie (X)	Rotorové zařízení	1	32	633,5	20272	43000	63 272,00
Sůl (A)	Ecosal Al 113s	2	32	430,5	13776	19600	33 376,00
Sůl (B)	Refinal 350	3	32	367,5	11760	21700	33 460,00
Sůl (C)	Arsal 2125	4	32	231	7392	17500	24 892,00
Sůl (D)	Probat - fluss	5	32	689,5	22064	22400	44 464,00
Sůl (E)	Unipok A-Al	6	32	402,5	12880	25200	38 080,00

Tabulka 8 - Případné celkové náklady na odplynění taveniny

5. Diskuse výsledků

Cílem pokusů bylo vyhodnotit použitelnost různých druhů rafinačních solí určených k odplynění slitiny AlSi. Výsledky provozních testů různých solí ukázaly, v jakém rozsahu jsou tyto soli schopny splnit svůj účel. Pro srovnání byla změřena také slitina AlSi odplyněná technologií používanou v současnosti. Hlavním kritériem pro zhodnocení použitelnosti solí byla hodnota indexu hustoty v odplyněném stavu slitiny.

Přesto, že počáteční hodnoty naplynění slitiny udávané indexem hustoty se pohybovaly v rozmezí 8,55% – 13,16%, koncové hodnoty byly vždy téměř identické a zároveň nedostačující. Ze všech pěti testovaných solí vyšla nejlépe sůl s označením „C“ (Arsal 2125). Pomocí této soli byla snížena plynatost udávaná indexem hustoty z 11,61 % na 9,7 %. Nejhorší výsledky byly zaznamenány při testování soli s označením „D“ (Probat – fluss). Tato sůl proti svému poslání zvýšila plynatost udávanou indexem hustoty z 8,55 % na 13,06 %. Měřením indexu hustoty vzorků odlitých před a po odplynění současnou technologií bylo zjištěno snížení plynatosti z 13,58 % na 1,11 %. (Tabulka 2 a 3, Graf 1 a 2)

Z ekonomického hlediska je technologie odplynění taveniny alternativní metodou levnější, než současně používaná technologie (Tabulka 8).

Pro stejné výchozí podmínky testovaných solí bylo ověřováno chemické složení jednotlivých taveb (Příloha A). Podle porovnání chemického složení slitiny měly všechny soli z tohoto hlediska téměř identické podmínky.

Dále byly průběžně měřeny a zaznamenávány teploty taveniny při odebrání vzorků. (Tabulka 4, Graf 3). Počáteční hodnoty teploty taveniny se pohybovaly v rozmezí od 734,9°C do 750,5°C, koncové hodnoty teploty taveniny byly naměřeny v rozmezí od 669,5°C – 684,1°C. Rozmezí počátečních hodnot je pro kontrolu výchozích podmínek do procesu přijatelné.

Složení vsázky u všech taveb bylo nastaveno tak, aby se množství vratného materiálu ve vsázce pohybovalo v rozmezí 38 % - 40 % (Tabulka 5).

Obsah kovu ve stažené strusce z jednotlivých solí se pohyboval v rozmezí 165,5g – 492g (Tabulka 6).

6. Závěr

Na základě výsledků z experimentu pro vyhodnocení použitelnosti různých druhů rafinačních solí určených k odplynění taveniny AlSi bylo prokázáno, že navrhovaná alternativní metoda ve formě odplyňovací soli zatížené u dna manipulační pánve odplyňovacím zvonem není pro provoz slévárny Siemens elektromotory s. r. o. závod Mohelnice přijatelná.

Technologie odplynění taveniny alternativní metodou je sice levnější, ale téměř neúčinná. Po zjištění indexů hustoty slitiny AlSi je nutno konstatovat, že žádná z pěti testovaných solí nedokázala snížit obsah nežádoucích plynů v tavenině na přijatelnou úroveň.

Rozdíl mezi nejlepší koncovou hodnotou indexu hustoty alternativní metodou a koncovou hodnotou indexu hustoty současně používanou technologií činí 8,59 % ve prospěch současně používané technologie.

Seznam použité literatury:

- [1] MICHNA, Štefan; LUKÁČ, Ivan; et al. *Encyklopedie hliníku*. 1. Vyd., Adin, s.r.o., Prešov: Adin, s.r.o., 2005, 700s., ISBN 80-89041-88-4
- [2] PAKOSTA, P., FREYN, M., KOŘENÝ, R., KADLÁČEK, V., PTÁČEK, J., *Současné trendy v tavení neželezných kovů*, Ostrava: Česká slévárenská společnost, Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2001, 32s.,
- [3] ROUČKA, J., *Metalurgie neželezných slitin*: Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., Brno, 2004, 148s., ISBN 80-214-2790-6
- [4] <http://www.sebestasro.cz/html/merici.htm> - citováno dne 27. 4. 2010

Seznam příloh:

<i>Označení</i>	<i>Název</i>	<i>Počet listů</i>
Příloha A	Chemické složení jednotlivých taveb	1
Příloha B	Hustoty, hmotnosti a objemy vzorků	1
Příloha C	Odkládací plochy pro vzorky	6
Příloha D	CD-ROM - Text bakalářské práce	

Výsledné hodnoty chemického složení jednotlivých taveb															
Datum	Ozn.	Tavba pro:	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Sn	Pb	Ti	Cr	P	Al
13.4.2010	X	Současná technologie	8,748	1,029	2,391	0,462	0,246	0,070	0,950	0,013	0,063	0,029	0,026	0,001	85,946
13.4.2010	A	Ecosal Al 113 S	8,941	1,019	2,274	0,473	0,251	0,061	0,967	0,015	0,064	0,027	0,027	0,001	85,856
13.4.2010	B	Refinal 350	8,938	0,946	2,548	0,462	0,220	0,091	0,753	0,011	0,055	0,033	0,022	0,001	85,893
13.4.2010	C	Arsal 2125	8,947	1,006	2,331	0,447	0,241	0,098	0,827	0,013	0,079	0,032	0,023	0,001	85,929
13.4.2010	D	Probat - fluss	9,022	1,015	2,300	0,458	0,246	0,112	0,792	0,013	0,068	0,035	0,021	0,001	85,889
13.4.2010	E	Unipok A - AL	9,015	1,002	2,341	0,446	0,240	0,100	0,821	0,012	0,073	0,032	0,022	0,001	85,867

Příloha A Chemické složení jednotlivých taveb

Aplikace	Vzorky	Veličina	Značka	Jednotka	Hodnota						
					0 min.	konec raf.	10 min.	15 min.	20 min.	25 min.	30 min.
Současná tech.	Vzorek ztuhlý při podtlaku 8 kPa	Hustota	ρ_{vak}	(kg.m ⁻³)	2,29	2,68	2,68	2,67	2,68	2,67	2,67
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	76,28	67,43	64,10	71,98	63,13	65,05	69,12
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	43,04	42,32	40,23	45,08	39,62	40,74	43,28
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	33,31	25,16	23,92	26,96	23,56	24,36	25,89
	Vzorek ztuhlý na atmosférickém tlaku	Hustota	ρ_{atm}	(kg.m ⁻³)	2,65	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	69,71	69,16	65,32	73,21	69,40	69,19	70,94
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	43,46	43,60	41,18	46,15	43,75	43,62	44,72
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	26,31	25,61	24,19	27,11	25,70	25,63	26,27
Ecosal Al 113s	Vzorek ztuhlý při podtlaku 8 kPa	Hustota	ρ_{vak}	(kg.m ⁻³)	2,34	2,34	2,34	2,33	2,37	2,34	2,33
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	62,75	70,85	62,42	68,92	63,12	67,18	66,48
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	35,99	40,63	35,80	39,40	36,54	38,53	38,00
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	26,82	30,28	26,68	29,58	26,63	28,71	28,53
	Vzorek ztuhlý na atmosférickém tlaku	Hustota	ρ_{atm}	(kg.m ⁻³)	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,68	2,67
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	67,29	67,70	87,08	68,90	71,54	70,60	63,89
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	42,14	42,39	54,53	43,15	44,80	44,31	40,01
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	25,20	25,36	32,61	25,81	26,79	26,34	23,93
Refinal 350	Vzorek ztuhlý při podtlaku 8 kPa	Hustota	ρ_{vak}	(kg.m ⁻³)	2,31	2,45	2,41	2,43	2,39	2,40	2,38
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	70,61	74,14	71,60	69,21	78,59	76,55	80,45
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	40,10	43,94	41,95	40,79	45,77	44,72	46,72
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	30,57	30,26	29,71	28,48	32,88	31,90	33,80
	Vzorek ztuhlý na atmosférickém tlaku	Hustota	ρ_{atm}	(kg.m ⁻³)	2,66	2,69	2,68	2,68	2,68	2,69	2,69
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	70,97	75,37	83,27	80,80	82,59	85,14	73,35
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	44,34	47,41	52,26	50,71	51,83	53,55	46,14
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	26,68	28,02	31,07	30,15	30,82	31,65	27,27
Arsal 2125	Vzorek ztuhlý při podtlaku 8 kPa	Hustota	ρ_{vak}	(kg.m ⁻³)	2,36	2,38	2,40	2,41	2,42	2,43	2,42
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	61,39	62,28	70,08	70,70	61,82	66,35	67,58
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	35,43	36,16	40,94	41,42	36,33	39,10	39,71
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	26,01	26,17	29,20	29,34	25,55	27,30	27,93
	Vzorek ztuhlý na atmosférickém tlaku	Hustota	ρ_{atm}	(kg.m ⁻³)	2,67	2,67	2,67	2,68	2,68	2,68	2,68
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	62,92	61,48	70,08	73,21	69,91	70,62	64,82
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	39,40	38,50	43,89	45,95	43,88	44,32	40,68
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	23,57	23,03	26,25	27,32	26,09	26,35	24,19
Probat fluss	Vzorek ztuhlý při podtlaku 8 kPa	Hustota	ρ_{vak}	(kg.m ⁻³)	2,46	2,34	2,38	2,31	2,35	2,32	2,33
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	72,08	61,88	61,98	66,72	69,17	68,18	68,28
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	42,84	35,49	35,99	37,89	39,79	38,85	39,03
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	29,30	26,44	26,04	28,88	29,43	29,39	29,30
	Vzorek ztuhlý na atmosférickém tlaku	Hustota	ρ_{atm}	(kg.m ⁻³)	2,69	2,69	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	69,53	70,00	72,50	68,51	74,93	72,76	72,38
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	43,73	44,03	45,50	43,00	47,03	45,67	45,43
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	25,85	26,02	27,05	25,56	27,96	27,15	27,01
Unipok A-Al	Vzorek ztuhlý při podtlaku 8 kPa	Hustota	ρ_{vak}	(kg.m ⁻³)	2,40	2,39	2,38	2,39	2,44	2,43	2,40
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	68,93	64,26	73,24	67,48	60,56	66,14	73,03
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	40,27	37,43	42,53	39,30	35,79	38,98	42,66
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	28,72	26,89	30,77	28,23	24,82	27,22	30,43
	Vzorek ztuhlý na atmosférickém tlaku	Hustota	ρ_{atm}	(kg.m ⁻³)	2,67	2,68	2,68	2,68	2,69	2,69	2,69
		Hmotnost	m_{at}	(kg).10 ⁻³	72,92	67,26	70,20	70,30	59,34	68,75	75,14
		Hmotnost ve vodě	m_{H2O}	(kg).10 ⁻³	45,66	42,21	44,06	44,12	37,32	43,24	47,26
		Objem	V_{vz}	(m ³).10 ⁻⁶	27,31	25,10	26,19	26,23	22,06	25,56	27,93

Příloha B Hustoty, hmotnosti a objemy vzorků

Současná metoda	0 minut	5 minut	10 minut	15 minut	20 minut	25 minut	30 minut
VAKUUM	XP - 0	XP - 5	XP - 10	XP - 15	XP - 20	XP - 25	XP - 30
	XA - 0	XA - 5	XA - 10	XA - 15	XA - 20	XA - 25	XA - 30
NORMÁLNÍ TLAK							

Příloha C: Plocha pro vzorky slitiny, která byla při experimentu ošetřena současnou metodou

Ecosal Al 113 S	0 minut	5 minut	10 minut	15 minut	20 minut	25 minut	30 minut
	AP - 0	AP - 5	AP - 10	AP - 15	AP - 20	AP - 25	AP - 30
VAKUUM							
NORMÁLNÍ TLAK	AA - 0	AA - 5	AA - 10	AA - 15	AA - 20	AA - 25	AA - 30

Příloha C Plocha pro vzorky slitiny, která byla při experimentu ošetřena odplyňovací solí Ecosal Al 113s

Refinal 350	0 minut	5 minut	10 minut	15 minut	20 minut	25 minut	30 minut
VAKUUM	BP - 0	BP - 5	BP - 10	BP - 15	BP - 20	BP - 25	BP - 30
NORMÁLNÍ TLAK	BA - 0	BA - 5	BA - 10	BA - 15	BA - 20	BA - 25	BA - 30

Příloha C Plocha pro vzorky slitiny, která byla při experimentu ošetřena odplyňovací solí Refinal 350

Arsal 2125	0 minut	5 minut	10 minut	15 minut	20 minut	25 minut	30 minut
VAKUUM	CP - 0	CP - 5	CP - 10	CP - 15	CP - 20	CP - 25	CP - 30
NORMÁLNÍ TLAK	CA - 0	CA - 5	CA - 10	CA - 15	CA - 20	CA - 25	CA - 30

Příloha C Plocha pro vzorky slitiny, která byla při experimentu ošetřena odplyňovací solí Arsal 2125

Probat - fluss	0 minut	5 minut	10 minut	15 minut	20 minut	25 minut	30 minut
VAKUUM	DP - 0	DP - 5	DP - 10	DP - 15	DP - 20	DP - 25	DP - 30
NORMÁLNÍ TLAK	DA - 0	DA - 5	DA - 10	DA - 15	DA - 20	DA - 25	DA - 30

Příloha C Plocha pro vzorky slitiny, která byla při experimentu ošetřena odplyňovací solí Probat - fluss

Unipok - A - Al	0 minut	5 minut	10 minut	15 minut	20 minut	25 minut	30 minut
VAKUUM	EP - 0	EP - 5	EP - 10	EP - 15	EP - 20	EP - 25	EP - 30
NORMÁLNÍ TLAK	EA - 0	EA - 5	EA - 10	EA - 15	EA - 20	EA - 25	EA - 30

Příloha C Plocha pro vzorky slitiny, která byla při experimentu ošetřena odplyňovací solí Unipok A - Al